

МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ТРЕНАЖЕРА, ИСПОЛЬЗУЮЩЕГО ДОПОЛНЕННУЮ ВИРТУАЛЬНУЮ РЕАЛЬНОСТЬ

A MODEL OF THE RELIABILITY OF THE COMPUTER SYSTEM OF A SIMULATOR USING AUGMENTED VIRTUAL REALITY

**A. Arhangelsky
R. Yukhimuk**

Summary. The article describes the reliability model of the computer part of the simulator equipment. The practical significance of the approach described in the article is to determine the reliability parameters of the computer system of a simulator using a cylindrical screen that allows you to simulate the image of the environment on the ground. The properties of the simulator for the formation of individual effects on the operator are considered. A brief description of virtual and augmented reality technology is provided.

Keywords: simulators, reliability model, virtual reality, augmented reality.

Архангельский Алексей Алексеевич

Кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
arhangelsky@yandex.ru

Юхимук Роман Алексеевич

научный сотрудник,
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
mkpostra@mail.ru

Аннотация. В статье приведено описание модели надежности компьютерной части оборудования тренажера. Практическая значимость подхода, описанного в статье, заключается в определении параметров надежности компьютерной системы тренажера, использующего цилиндрический экран, который позволяет имитировать изображение окружающей обстановки на местности. Рассмотрены свойства тренажера по формированию отдельных воздействий на оператора. Приведено краткое описание технологий виртуальной и дополненной реальности.

Ключевые слова: тренажеры, модель надежности, виртуальная реальность, дополненная реальность.

Введение

При формировании профессиональных навыков, необходимых оператору при работе в реальных условиях, используются тренажеры. Этот способ обучения применяется для операторов (водителей): трейлеров, кранов, погрузчиков и другой специальной техники, которая не может использоваться для обучения, по различным причинам, например, большой расход горючего или электроэнергии, размещение оборудования в местах, где обучение невозможно и т.д.

Для усиления психологического эффекта в процессе обучения используются средства позволяющие воспроизвести элементы окружающей обстановки при работе оператора. Одним из направлений развития таких систем является использование в тренажерах технологии виртуальной реальности.

Данная работа посвящена рассмотрению тренажера, в котором используются элементы систем виртуальной реальности.

Актуальность темы определяется распространением технологий, использующих виртуальную реальность

на тренажерах, и необходимостью дальнейшего развития направления по применению дополненной виртуальной реальности.

Целью статьи является определение вероятностных характеристик надежности компьютерной системы тренажера с использованием технологии виртуальной реальности.

Элементы технологии виртуальной реальности

Виртуальная реальность (VR) — это семейство информационных технологий, основанных на использовании интерактивного интерфейса, человек-машина, оказывающего на систему восприятия оператора воздействие, которое заменяет реальную среду таким образом, что у оператора создается впечатление взаимодействия с искусственной средой, создаваемой техническими средствами [1–3].

При создании эффектов VR могут использоваться следующие устройства [2]:

- индивидуальные системы визуализации — шлемы виртуальной реальности;
- системы трекинга — отслеживания положения глаз и движения тела оператора;

- устройства, имитирующие тактильные, вестибулярные и другие ощущения — поворачивающиеся платформы и кресла; вибрирующие поверхности; генераторы движения воздуха, воды; генераторы запаха, дыма;
- системы интерактивного взаимодействия в виртуальной среде — различные устройства управления виртуальными объектами, а именно, трехмерные координатные указатели, перчатки, джойстики и управляющие устройства, имеющие большое число степеней свободы;
- программное обеспечение, которое по датчикам отслеживания положения глаз и движения тела оператора формирует визуальные и другие воздействия на органы чувств оператора.

Тренажеры с элементами программных средств дополненной реальности

Применение тренажеров при подготовке операторов снижает материальные затраты на их подготовку за счет исключения повреждений реальных технических объектов в процессе обучения.

Уровень детализации структурной схемы тренажера может быть различным. Можно представить тренажер как структуру, включающую рабочее место оператора, компьютерную систему, пульт управления инструктора с периферийными устройствами, систему имитации окружающей обстановки. Такая структура отражает основные элементы тренажеров различного назначения и удобна для анализа способов построения тренажерных систем.

Для имитации окружающей обстановки в тренажерах используется система виртуальной реальности. При массовом использовании тренажеров одним из направлений является применение таких систем, в которых технологии VR используются частично.

Тренажеры, в которых часть оборудования является реальной (кабина, органы управления), относятся к системам дополненной реальности (Augmented reality). Первоначально термин дополненная реальность использовался для определения систем, в которых деятельность оператора дополнялась компьютерными средствами. Впоследствии под термином дополненная реальность подразумевалась возможность на реальную картину, видимую наблюдателем, нанести синтезированное изображение в виде графиков, символов и т. п. [1, 2].

Кабина с органами управления может дополняться следующими элементами:

- система имитации визуальной обстановки;
- звуковое сопровождение (звук работы имитируемого устройства, звук при торможении, сигналы других систем, звуки при аварийных ситуациях);

- имитация воздействий на вестибулярный аппарат оператора (платформа для поворота и наклона кабины).

В описываемом тренажере не используются визуальные стереоэффекты, поскольку специальная техника, для которой готовят операторов, является наземной. В связи с этим сложные устройства вроде коллимационной системы визуализации, основанной на отражении сферического просветного экрана от сферического зеркала, не применяются.

Для имитации изображения окружающей среды на данном тренажере используется цилиндрический проекционный экран с широким углом обзора. Для таких изогнутых панорамных экранов применяется специальная система из 3–4 проекторов, которая создает единое изображение. Рама для экрана является несущей конструкцией для размещения проекторов, что позволяет установить его в любом помещении. Обычно, на цилиндрических панорамных экранах используется фронтальная проекция, поэтому основным материалом для их изготовления являются белое поливинилхлоридное полотно. При проектировании экранов устанавливаются основные углы обзора: 60, 90, 120, 180, 270 градусов. В данном случае при диаметре экрана 9 м, высоте 3 м и угле обзора по горизонтали 270 градусов, поле зрения оператора, находящегося в кабине, охватывается полностью. Четкость и предел зернистости изображения зависит от разрешающих параметров матрицы и удаленности оператора от экрана [4, 5].

При введении системы дополненной реальности для имитации визуальной обстановки в виде изображения на экране отпадает необходимость в части элементов из полного набора устройств VR.

В таком тренажере можно не использовать:

- системы трекинга;
- системы интерактивного взаимодействия в виртуальной среде;
- программное обеспечение, которое по датчикам отслеживает положения глаз оператора.

Изображение, получаемое на основе шлема виртуальной реальности, может вызывать у оператора головокружение, тошноту и другие симптомы «морской болезни». Формирование изображения на проекционном экране не дает таких негативных эффектов и не так сильно влияет на физиологические процессы обучаемых [5].

Параметры надежности управляющего компьютера

В базовую конфигурацию ПК для управления тренажером включаются следующие основные устройства:

- системный блок;
- монитор;
- клавиатура;
- координатный указатель.

Компьютер с точки зрения надежности представляет собой соединение сложных устройств, каждое из которых оказывает влияние на работу других компонентов.

Далее приведен перечень основных элементов ПК в порядке увеличения срока работоспособного состояния:

- видеокарта (3 года);
- блок питания ПК (4 года);
- материнская плата (4 года);
- жесткий диск (5 лет).

Средняя длительность работы ПК без ремонта в нормальных условиях по температуре и влажности составляет от 3 до 5 лет [6].

Из процессоров, управляющих отдельными элементами тренажера, составляется многопроцессорная система.

Тренажер состоит из нескольких модулей, каждый из которых имеет отдельный процессор:

- модуль с рабочим местом водителя на подвижной платформе;
- система с программным обеспечением и устройством согласования, обеспечивающим совместную работу датчиков органов управления тренажера;
- визуально-акустический модуль, состоящий из проекционного экрана, с помощью которого моделируется визуальная информация; из акустических колонок, которые воспроизводят основные шумы, возникающие при движении технических систем (шум работы техники, звук шин при торможении и т.д.), а также акустические характеристики работы различных агрегатов и систем (звук пуска двигателя) [7–10].

Вероятностные характеристики функционирования многопроцессорной системы по надежности

Рассмотрим модель процесса технического обслуживания, в которой учитывается восстановление работоспособности объектов.

В соответствии с обозначениями классификации видов СМО и случайных процессов модель вида $M|M|1$ раскрывается следующим образом [11]:

M — марковский процесс поступления заявок на обслуживание (интервалы времени между приходом заявок распределены по экспоненциальному закону);

M — марковский процесс времени обслуживания заявок (время обслуживания заявок распределено по экспоненциальному закону).

1 — количество ремонтных бригад.

Буферный накопитель, в который помещаются заявки на восстановление работоспособности объектов, находится на сервере системы технического обслуживания.

В данном случае принимается модель потока, в которой заявки на восстановление работоспособности объектов приходят в разные промежутки времени, на бесконечно малом интервале времени появляется не более одной заявки (ординарность потока). Для этого потока существуют характеристики случайного процесса (среднее значение, дисперсия и т.д.), которые не зависят от времени поступления заявок (стационарность потока). Заявки не зависят друг от друга, порядок их поступления не влияет на процесс обслуживания (поток без последствия).

На рисунке 1 показан граф модели СМО для определения вероятностных характеристик надежности многопроцессорной системы тренажера.

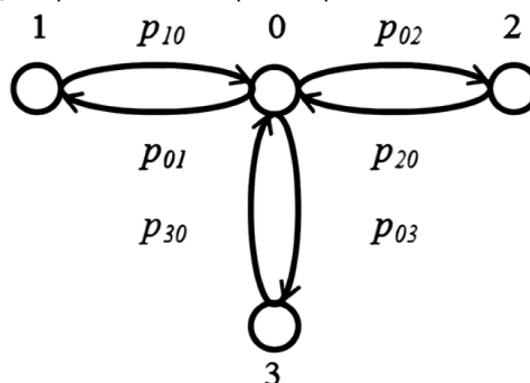


Рис. 1. Граф модели СМО для определения надежности многопроцессорной системы тренажера

В соответствии с графом многопроцессорная система тренажера может находиться в следующих состояниях [11, 12]:

- 0 — система работоспособна;
- 1 — процессор модуля с рабочим местом водителя неработоспособен;
- 2 — процессор модуля согласования неработоспособен;
- 3 — процессор визуально-акустического модуля неработоспособен.

На рисунке 1 переходные вероятности системы обозначены следующим образом:

- p_{01} — вероятность перехода системы из состояния 0 в состояние 1;
- p_{10} — вероятность перехода системы из состояния 1 в состояние 0;

- p_{02} — вероятность перехода системы из состояния 0 в состояние 2;
- p_{20} — вероятность перехода системы из состояния 2 в состояние 0;
- p_{03} — вероятность перехода системы из состояния 0 в состояние 3;
- p_{30} — вероятность перехода системы из состояния 3 в состояние 0.

Финальные состояния системы имеют следующий вид:

- p_0 — вероятность того, что система работоспособна;
- p_1 — процессор модуля с рабочим местом водителя неработоспособен;
- p_2 — вероятность того, что процессор модуля согласования неработоспособен;
- p_3 — вероятность того, что процессор визуально-акустического модуля неработоспособен;
- ρ — отношение интервала времени, когда система неработоспособна, к интервалу времени, когда система работоспособна.

Вероятности состояний для модели надежности многопроцессорной системы определяются из следующих уравнений:

$$p_1 = p_0 \rho_1, \tag{1.1}$$

$$p_2 = p_0 \rho_2, \tag{1.2}$$

$$p_3 = p_0 \rho_3, \tag{1.3}$$

$$p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 1, \tag{2}$$

после преобразования уравнения (2)

$$p_0 + p_0 \rho_1 + p_0 \rho_2 + p_0 \rho_3 = 1, \text{ находим величину } p_0.$$

Далее приведен пример определения вероятностей p_0, p_1, p_2, p_3 :

$$p_0 = 1 / (1 + \rho_1 + \rho_2 + \rho_3),$$

$$\rho_1 = 4 \times 10^{-3},$$

$$\rho_2 = 3 \times 10^{-3},$$

$$\rho_3 = 2 \times 10^{-3},$$

$$p_0 = 0,991.$$

Значения вероятностей p_0, p_1, p_2, p_3 приведены ниже:

$$p_1 = 0,991 \times 4 \times 10^{-4} = 39,64 \times 10^{-4},$$

$$p_2 = 0,991 \times 3 \times 10^{-4} = 29,73 \times 10^{-4},$$

$$p_3 = 0,991 \times 2 \times 10^{-4} = 19,82 \times 10^{-4}.$$

Значение вероятности того, что оборудование будет работоспособно, численно совпадает со значением коэффициента готовности системы. Полученные значения вероятностей сравниваются с нормативными данными по соответствующим видам оборудования. В приведенном примере расчета, вероятность того, что оборудование будет работоспособно, находится в области значений $p_0 = 0,99$.

Заключение

В статье описана модель многопроцессорной системы и проведено определение вероятностных характеристик надежности компьютерной системы тренажера с использованием технологии виртуальной реальности.

В данном случае направление совершенствования тренажера таково, что исключается использование шлема виртуальной реальности и связанных с этим неприятных для оператора ощущений (признаки «морской болезни»).

При таком подходе к созданию тренажеров основное внимание уделяется использованию водителем реальных органов управления. Также происходит изменение набора и вида специальных устройств, используемых для создания частичных эффектов ВР:

- индивидуальные системы визуализации (шлемы виртуальной реальности) заменяются проекционными экранами за пределами кабины, на которых воспроизводятся видеозаписи реальной обстановки;
- изымаются системы трекинга;
- расширяются возможности использования акустической системы в реальном пространстве;
- применяется платформа для изменения положения рабочего места водителя и имитации поворота, наклона или вибрации;
- упрощается программное обеспечение для реализации взаимодействия основных систем тренажера.

При изменении элементов ВР (изъятие шлемов виртуальной реальности) исключается возможность появления симптомов «морской болезни» и соответствующих физиологических проявлений, что улучшает самочувствие операторов, обучаемых на тренажере.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смолин А.А., Жданов Д.Д., Потемин И.С., Меженин А.В., Богатырев В.А. Системы виртуальной, дополненной и смешанной реальности / Учебное пособие. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО. 2018. — 59 с.
2. Бабенко В.С. Виртуальная реальность: Толковый словарь терминов / В.С. Бабенко; ГУАП. — СПб., 2006. — 87 с.
3. Иванов А.А., Петров В.В. Виртуальная реальность в образовании: теория и практика. — М.: Наука, 2023. — 256 с.
4. Иванова Л.Н. Сравнительный анализ экранов для VR-систем // Инженерный вестник. — 2023. — № 4 — С. 45–52.
5. Сидоров П.И. Современные тенденции внедрения VR и AR в России // Технологии будущего. — 2024. — № 3. — С. 12–18.
6. ГОСТ Р 27.301–2021. Надёжность технических систем. Методы расчёта. — М.: Стандартинформ, 2021. — XX с.
7. Роганов В.Р., Михеев М.Ю., Асмолова Е.А., Жашкова Т.В. Имитаторы визуальной обстановки для тренажёров подготовки водителей транспортных средств // Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество»; Пензенский государственный технологический университет — Пенза: 2016, том 2 — С. 326–328.
8. Данилов А.М., Лапшин Э.В., Гарькина И.А., Трусов В.А. Информационно-вычислительные системы авиационных тренажёров модульной архитектуры с распараллеливанием вычислительных процессов // Труды Международного симпозиума «Надёжность и качество»; Пензенский государственный технологический университет — Пенза: 2016, том 2 — С. 318–326.
9. А.В. Белякова, Б.В. Савельев Анализ информационных моделей тренажёров для обучения водителей транспортных средств // Вестник СибАДИ 2019, том 16, № 5 (69) — С. 559–571.
10. Кузнецов Д.А. Экономическая эффективность VR-тренажёров в обучении водителей // Экономика и транспорт. — 2023. — № 5 — С. 45–52.
11. Теория надёжности радиотехнических систем (математические основы) / Левин Б.Р. — М.: Сов. радио, 1978. — 264 с.
12. Архангельский А.А., Юхимук Р.А. Тренажёры с использованием отдельных элементов технических средств виртуальной реальности // Высшая школа, научно-практический журнал. — 2024. — № 4 — С. 63–65.

© Архангельский Алексей Алексеевич (arhangelsky@yandex.ru); Юхимук Роман Алексеевич (mkpostra@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»